

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 7 月 22 日 (22.07.2004)

PCT

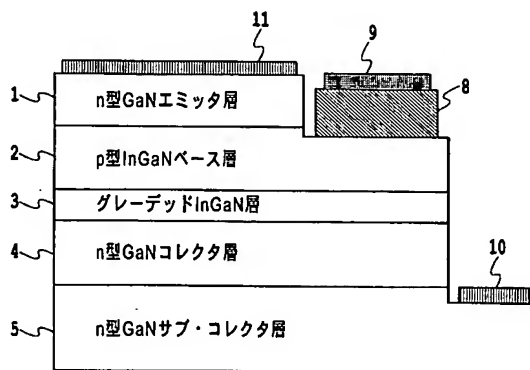
(10) 国際公開番号
WO 2004/061971 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01L 29/737, 21/331, 21/28 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/000014 (75) 発明者/出願人(米国についてののみ): 牧本 俊樹 (MAKI-MOTO, Toshiki) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 熊倉一英 (KUMAKURA, Kazuhide) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 小林 直樹 (KOBAYASHI, Naoki) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).
(22) 国際出願日: 2004 年 1 月 6 日 (06.01.2004)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ: 特願2003-000089 2003 年 1 月 6 日 (06.01.2003) JP (74) 代理人: 谷 義一 (TANI, Yoshikazu); 〒1070052 東京都港区赤坂 2 丁目 6 - 2 0 Tokyo (JP).
(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町二丁目3番 1 号 Tokyo (JP). (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,

[続葉有]

(54) Title: P-TYPE NITRIDE SEMICONDUCTOR STRUCTURE AND BIPOLAR TRANSISTOR

(54) 発明の名称: p 型窒化物半導体構造及びバイポーラトランジスタ



- 1...n-TYPE GaN EMITTER LAYER
2...p-TYPE InGaN BASE LAYER
3...GRADED InGaN LAYER
4...n-TYPE GaN COLLECTOR LAYER
5...n-TYPE GaN SUB-COLLECTOR LAYER

(57) Abstract: A p-type nitride semiconductor structure having an ohmic characteristic greatly improved by re-growing a p-type nitride semiconductor containing In on a p-type nitride semiconductor that have received process-induced damage and thereby remedying the process-induced damage is disclosed. Further, a p-type nitride semiconductor bipolar transistor having a greatly improved current gain and a greatly improved rise voltage is also disclosed. A p-type nitride semiconductor layer (8) containing In is formed on a p-type nitride semiconductor (2) processed by etching. In a bipolar transistor having a base layer of p-type nitride semiconductor, a p-type InGaN base layer (8) containing In is formed by regrowth on a p-type InGaN base layer (2) exposed by etching an emitter layer (1).

(57) 要約: 本発明は、加工ダメージのある p 型窒化物半導体上に In を含む p 型窒化物半導体を再成長することにより、加工ダメージが修復され、オーミック特性が大幅に改善された p 型窒化物半導体構造を提供すること、また、電流利得および

[続葉有]



DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH,

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

立ち上がり電圧を大幅に改善することができるp型窒化物半導体バイポーラトランジスタを提供することである。エッチングによる加工を施したp型窒化物半導体(2)上に、Inを含むp型窒化物半導体層(8)を設ける。また、ベース層がp型窒化物半導体であるバイポーラトランジスタにおいて、エミッタ層(1)をエッチングすることにより露出されたp型InGaNベース層(2)の表面に、再成長させたInを含むp型InGaNベース層(8)を設ける。

明 細 書

p 型窒化物半導体構造及びバイポーラトランジスタ

5 技術分野

本発明は、p 型窒化物半導体構造及びバイポーラトランジスタに関し、より詳細には、窒化物半導体を有する p 型窒化物半導体構造及び高出力パワーアンプなどに利用される p 型窒化物半導体バイポーラトランジスタに関するものである。

10

背景技術

一般に、窒化物半導体は、バンドギャップが大きいという特徴を有するので、様々な光・電子デバイスに用いられている。エッチングなどで加工した p 型窒化物半導体の表面は、加工によってダメージを受ける。このダメージは、n 型の伝導性を示すために、加工した p 型窒化物半導体の表面にオーミック電極を形成しても良好な電流－電圧（I－V）特性を得ることができない（例えば、非特許文献 1 ; T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi, Journal of Crystal Growth 221, P. 350-355 (2000) 参照、また、非特許文献 2 ; T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi, phys. stat. sol. (a) 188, No. 1, P. 183-186, (2001) 参照）。

20

このダメージの影響を減少させることを目的として、ダメージを受けた層の上に、新たに p 型半導体を成長する方法が報告されている。ここでは、ベース層が p 型窒化物半導体である npn 型窒化物半導体ヘテロ接合バイポーラトランジスタ（HBT; Heterojunction Bipolar Transistor）に関する研究を中心に説明する。

25

FIG. 9A～FIG. 9E は、HBT を作製する典型的なプロセ

スの一例を示す図で、F I G. 9 AはH B T構造の結晶成長、F I G. 9 Bはエッチングによるベース層の面出し、F I G. 9 Cはエッチングによるサブ・コレクタ層の面出し、F I G. 9 Dはベース層へのp型電極の形成、F I G. 9 Eはエミッタ層及びサブ・コレクタ層へのn型電極の形成状態を各々示す図である。

F I G. 9 Aに示すように、H B T構造は、n型サブ・コレクタ層24と、このn型サブ・コレクタ層24上に積層されたn型コレクタ層23と、このn型コレクタ層23上に積層されたp型I n G a Nベース層22と、このp型I n G a Nベース層22上に積層されたn型G a Nエミッタ層21とから構成されている。次に、F I G. 9 Bに示すように、エッチングによりベース層22の面出しを行う。次に、F I G. 9 Cに示すように、エッチングによりn型サブ・コレクタ層24の面出しを行う。次に、F I G. 9 Dに示すように、面出しされたベース層22上にp型電極(ベース電極)25を形成する。次に、F I G. 9 Eに示すように、エミッタ層21及び面出しされたn型サブ・コレクタ層24上にn型電極26を形成する。

このようなH B T作製プロセスでは、ベース電極25を形成するために、エミッタ層21をエッチングで除去してベース層22の表面を露出させる。この露出したベース層22の表面にベース電極25を形成する。この露出したベース層22の表面は、エッチングダメージを受けているために、ベース層22がp型G a Nの場合のベース電極は良好なI - V特性を示さない。さらに、作製したH B Tは良好なエミッタ接地I - V特性を示さない。

つまり、従来のH B Tのエミッタ接地I - V特性では、電流利得が小さく、また、立ち上がり電圧が大きいという問題があった。このベース層の表面のダメージの影響を減少させることを目的として、ダメージを受けたp型窒化物半導体ベース層の上に、新たなp型半

導体を成長する方法が報告されている。

以下、これらの従来方法について説明する。

ダメージの影響を減少させるための一番目の方法は、ダメージを受けた表面に p 型 GaN を再成長する方法である（例えば、非特許文献 3 ; L.S.McCarthy, P.Kozodoy, M.J.W.Rodwell, S.P.DenBaars, U.K.Mishra, IEEE Electron Device Letters, Vol.20, No.6, P.277-279 (1999) 参照、また、非特許文献 4 ; B.S.Shelton, D.J.H.Lambert, Jian Jang Huang, M.M.Wong, U.Chowdhury, Ting Gang Zhu, H.K.Kwon, Z.Liliental-Weber, M.Benarama, M.Feng, R.D.Dupuis, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.48, No.3, P.490-494 (2001) 参照）。

FIG. 10 は、エッチングダメージを受けた p 型 GaN に p 型 GaN を再成長した場合の従来例に係る HBT 構造を示す模式図で、p 型窒化物半導体ベース層の上に、新たな p 型半導体を成長させた従来の HBT 構造を示す模式図である。この HBT 構造は、n 型 GaN サブ・コレクタ層 34 と、この n 型 GaN サブ・コレクタ層 34 上に積層された n 型 GaN コレクタ層 33 と、この n 型 GaN コレクタ層 33 上に積層された p 型 GaN ベース層 32 と、この p 型 GaN ベース層 32 上に積層された n 型 AlGaIn エミッタ層 31 と、面出しされた p 型 GaN ベース層 32 上に形成された外部再成長 p 型 GaN ベース層 35 とから構成され、面出しされた n 型 GaN サブ・コレクタ層 34 上にはコレクタ電極 37 が形成され、外部再成長 p 型 GaN ベース層 35 上にはベース電極 36 が形成され、n 型 AlGaIn エミッタ層 31 上にはエミッタ電極 38 が形成されている。

しかしながら、上述したいずれの非特許文献に記載のものも、ベース層の再成長を行なっているにもかかわらず、HBT の電流利得

は10以下であり、大きな値は得られていない。

また、上述した非特許文献3では、エミッタ接地I-V特性における立ち上がり電圧は、4V以上である。さらに、上述した非特許文献4では、報告されているエミッタ接地I-V特性は漏れ電流が
5 大きいので、立ち上がり電圧を測定することは不可能である。

このように、エッチングによって露出したベース層の上にp型Ga
aNを再成長（「外部ベース層」と呼ぶこともある）しても、HBT
Tの特性はほとんど改善されなかった。p型窒化物半導体の典型的
な例であるp型Ga_{0.5}In_{0.5}Nを用いた再成長の場合では、再成長界面に存
10 在する加工ダメージを修復できなかったために、HBTの特性が改
善されなかったものと考えられる。このことは、良好なHBTを作
製するためには、再成長する材料が重要であることを示している。

二番目の方法は、p型Ga_{0.5}In_{0.5}Nを再成長する代わりに、ダメージを
受けた表面にp型GaAsを再成長する方法である（例えば、非特
15 許文献5；K.P.Lee, A.P.Zhang, G.Dang, F.Ren, J.Han, S.N.G.Chu,
W.S.Hobson, J.Lopata, C.R.Abernathy, S.J.Pearton, J.W.Lee,
Solid-State Electronics 45, P.243-247 (2001) 参照）。p型Ga
Asの正孔濃度は 10^{20} cm^{-3} であり、室温におけるp型Ga
Nの正孔濃度よりも100倍以上も高い。良好なHBT特性を得る
20 ことを目的として、この高い正孔濃度に注目した報告である。

しかしながら、p型GaAsの再成長を行なっても、エミッタ接
地I-V特性における電流利得は5以下、立ち上がり電圧は3.5
V以上であり、良好なHBT特性が得られていない。この場合も、
p型Ga_{0.5}In_{0.5}Nベース層とp型GaAs成長層の間に存在する加工ダ
25 メージを修復することができなかったために、HBT特性が改善さ
れなかったものと考えられる。このことは、ただ単に、加工ダメ
ージを受けたp型Ga_{0.5}In_{0.5}Nの上に再成長した層の正孔濃度を高くしても、

良好なHBTを作製することはできないことを示している。

この他に特許文献として、特開平5-175225号公報及び特開平5-291282号公報がある。この公報のものは、接合容量の低減化を図るために、p型GaAs外部ベース層を高抵抗化したAlGaAs外部エミッタ層上に再成長させたものである。また、特開平7-245316号公報のものは、n型GaAsコレクタ層上にn型InGaPエッチングストップ層を介してp型GaAs外部ベース層を形成したものである。

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、加工したp型窒化物半導体の表面上に良好なオーミック電極を形成することが困難であった点を解決し、良好なオーミック電極を形成することのできるp型窒化物半導体構造を提供することにある。

また、本発明の他の目的は、従来のp型窒化物半導体バイポーラトランジスタの電流利得が他の半導体で作製したバイポーラトランジスタの電流利得よりも著しく小さかった点を解決し、電流利得を飛躍的に向上させたp型窒化物半導体バイポーラトランジスタを提供することにある。

また、本発明のさらに他の目的は、従来のp型窒化物半導体バイポーラトランジスタの立ち上がり電圧がバンドギャップから予想される値よりも著しく大きかった点を解決し、バンドギャップから予想される値に近い値まで減少させることのできるp型窒化物半導体バイポーラトランジスタを提供することにある。

発明の開示

本発明は、エッチングによる加工を施したp型窒化物半導体上に、Inを含むp型窒化物半導体層を設けたことを特徴とするp型窒化

物半導体構造である。

また、本発明は、ベース層が p 型窒化物半導体であるバイポーラ
トランジスタにおいて、エミッタ層をエッチングすることにより露
出された p 型ベース層の表面に、I n を含む p 型窒化物半導体層を
5 設けたことを特徴とする p 型窒化物半導体バイポーラトランジスタ
である。

すなわち、本発明は、加工した p 型窒化物半導体上に I n を含む
p 型窒化物半導体を再成長した構造であることを最も主要な特徴と
する。なお、従来の技術とは、再成長した p 型窒化物半導体に I n
10 が含まれている点異なる。

加工ダメージを受けた p 型窒化物半導体上に I n を含む p 型窒化
物半導体を成長させた場合には、I n 原子によって良好な再成長界
面が得られ、加工ダメージを大幅に減少させることができる。その
結果、良好なオーミック電極を形成することができる。本発明をバ
イポーラトランジスタの外部 p 型ベース層の再成長に適用すれば、
15 加工ダメージにより発生するベース漏れ電流が減少する。その結果、
飛躍的な電流利得の向上及び低い立ち上がり電圧を得ることができ
る。

20 図面の簡単な説明

F I G . 1 は、本発明の H B T 構造を示す模式図である。

F I G . 2 は、実施例で使用した n p n 型 H B T の層構造を示す模
式図である。

F I G . 3 は、p 型 I n G a N 外部ベース層の再成長を行なった後
25 の様子を示す模式図である。

F I G . 4 は、実施例における再成長 p 型 I n G a N 外部ベース層
付近の詳細を示した図である。

FIG. 5 は、p 型 InGa_{0.5}N を再成長した場合の I-V 特性（本発明）と再成長をしなかった場合（従来構造）の I-V 特性の比較図である。

FIG. 6 は、従来の方法で作製した HBT のエミッタ接地特性の一例を示す図である。

FIG. 7 は、実施例における HBT のエミッタ接地 I-V 特性を示す図である。

FIG. 8 は、立ち上がり電圧を調べるために、小さな電流値で測定したエミッタ接地 I-V 特性を示す図である。

FIG. 9A~FIG. 9E は、HBT を作製する典型的な従来のプロセス（再成長無し）の一例を示す図である。

FIG. 10 は、エッチングダメージを受けた p 型 GaN に p 型 GaN を再成長した場合の従来例に係る HBT 構造を示す模式図である。

15

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して本発明の実施例について説明する。

FIG. 1 は、本発明の HBT 構造を示す模式図で、p 型窒化物半導体バイポーラトランジスタの構成図である。

この HBT 構造は、n 型 GaN サブ・コレクタ層 5 と、この n 型 GaN サブ・コレクタ層 5 上に積層された n 型 GaN コレクタ層 4 と、この n 型 GaN コレクタ層 4 上に積層されたグレーデッド InGa_{0.5}N 層 3 と、このグレーデッド InGa_{0.5}N 層 3 上に積層された p 型 InGa_{0.5}N ベース層 2 と、この p 型 InGa_{0.5}N ベース層 2 上に積層された n 型 GaN エミッタ層 1 と、面出しされた p 型 InGa_{0.5}N ベース層 2 上に形成された外部再成長 p 型 InGa_{0.5}N ベース層 8 とから構成されていて、面出しされた n 型 GaN サブ・コレクタ層 5 上にはコレクタ電極 10 が形成され、外部再成長 p 型 InGa_{0.5}N

ベース層 8 上にはベース電極 9 が形成され、n 型 GaN エミッタ層 1 上にはエミッタ電極 11 が形成されている。

この HBT は、ベース層 2 が p 型窒化物半導体である HBT において、エミッタ層 1 をエッチングすることにより露出させた p 型ベース層 2 の表面に、In を含む p 型窒化物半導体層 8 を成長させた p 型窒化物半導体 HBT である。本発明における p 型ベース層 2 は、In を含む p 型 InGa_N である。

以下に、本発明の HBT の作製方法について説明する。

まず、有機金属気相成長法 (MOVPE 法) を用いて SiC 基板 7 上に npn 型 HBT を作製した。FIG. 2 は、成長した層構造を示す模式図である。エミッタ層 1 は n 型 GaN (Si; $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、40 nm)、ベース層 2 は p 型 InGa_N (In; 7%、Mg; $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、100 nm)、グレーデッド層 3 は InGa_N (30 nm)、コレクタ層 4 は n 型 GaN (Si; $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、500 nm)、サブ・コレクタ層 5 は n 型 GaN (1 μm)、バッファ層 6 は AlN (100 nm)、基板 7 は SiC であり、ダブルヘテロ構造を採用した。コレクタ層 4 はトリメチルガリウム、アンモニアを用いて 1000 °C で成長した。グレーデッド InGa_N 層 3、ベース層 2、コレクタ層 4 は、トリメチルインジウム、トリエチルガリウム、アンモニアを用いて 780 °C で成長した。p 型不純物には Mg 原子を用い、n 型不純物には Si 原子を用いた。InGa_N 中の In 組成は、X 線二結晶法を用いて、InGa_N 結晶が完全に緩和していると仮定して、ベガード則を適用して求めた。また、測定に用いた InGa_N の厚膜は 100 nm から 200 nm 程度である。

ベース層 2 には p 型 InGa_N を用いているが、この p 型 InGa_N の In 組成が大きくなると GaN との格子定数差が大きくなる

ため、欠陥密度が増加する。この結果、少数キャリアの寿命が短くなるので、電流利得が小さくなる恐れがある。そこで、本実施例における p 型 InGa_N の In 組成は 7 % と比較的小さな値を用いた。これに対して、In 組成が小さいと加工ダメージの影響が大きくなるので（例えば、非特許文献 1 参照）、電流利得と加工ダメージの

5 関係はトレードオフの関係にあると考えられる。かかる点から、p 型 InGa_N ベース層 2 の In 組成は、5 % から 30 % 程度が望ましく、p 型窒化物半導体層 8 の In 組成は、p 型 InGa_N ベース層 2 の In 組成よりも高いことが望ましい。

10 また、p 型 InGa_N ベース層 2 と n 型 Ga_N コレクタ層 4 とを単純に接合させると、ベース層 2 とコレクタ層 4 との間に伝導帯不連続によるスパイクが発生する。このスパイクは、エミッタ層 1 からベース層 2 に注入された電子がコレクタ層 4 へ走行するのを妨げるので、電流利得を減少させる。この影響を無くすために、ベース

15 層 2 とコレクタ層 4 との間に In 組成を徐々に変化させたグレーデッド InGa_N 層 3 を挿入した。

まず、塩素ガスを用いたドライエッチング（反応性イオンエッチング）によって、FIG. 2 に示す HBT 層構造を加工し、ベース層 2 の表面およびサブ・コレクタ層 5 の表面を露出させた。

20 次に、p 型窒化物半導体層 8 を再成長させたくない部分を SiO₂ マスクで覆った。その後、トリメチルインジウム、トリエチルガリウム、シクロペンタジエニルマグネシウム（Mg 原子の原料ガス）、アンモニアを用いて、p 型 InGa_N 外部ベース層 8 を p 型 InGa_N ベース層 2 上に再成長させた。この再成長の成長温度は、ベース層 2 を成長させた温度（本実施例では 780℃）よりも低い温度

25 とすることが望ましいので、本実施例では 750℃ とした。

この再成長させる p 型 InGa_N 外部ベース層 8 の In 組成は、

p 型 I n G a N 層 2 の I n 組成よりも高いことが望ましい。F I G. 3 は、再成長を行なった後の様子を示す模式図である。この後、S i O₂ マスク 1 2 を H F で除去し、各電極（ベース電極 9、コレクタ電極 1 0、エミッタ電極 1 1）を電子ビーム蒸着により形成した。

5 このようにして、F I G. 1 に示した H B T を最終的に作製した。この場合、エミッタ電極 1 1 の大きさは、5 0 μ m × 3 0 μ m である。

本実施例で再成長させた p 型 I n G a N 外部ベース層 8 の詳細な構造を F I G. 4 に示す。エッチングして露出させた p 型 I n G a N ベース層 2 上には、I n 組成が 2 0 % の p 型 I n G a N 層 1 7 を 1 0 0 n m 再成長し、引き続き、I n 組成が 3 0 % の厚さの薄い p 型 I n G a N 層 1 3 を 2 n m 成長した。これらの再成長 p 型 I n G a N 層に含まれる M g 濃度は $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。本実験例のように、I n 組成が 3. 0 % の厚さの薄い p 型 I n G a N 層 1 3 と I n 組成が 2 0 % の p 型 I n G a N 層 1 2 の間には、結晶の歪みによる分極電荷 1 4 が発生する。この分極電荷が大きいことが窒化物半導体の特徴であり、G a A s 系や I n P 系の化合物半導体では分極電荷の大きさは無視できるほど小さい。I n 組成が低い I n G a N の上に I n 組成が高い I n G a N を成長した場合には、その界面に負の分極電荷が発生する。この性質を生かして、p 型窒化物半導体と金属の間の接触抵抗を低くすることができる（例えば、特開 2 0 0 3 - 0 0 7 9 9 8 号公報「低抵抗窒化物半導体およびその作製方法」（熊倉、牧本、小林）、あるいは、非特許文献 6 : K. Kumakura, T. Makimoto and N. Kobayashi, Applied Physics Letters, Vol. 79, No.16, pp.2588 - 2590 (2001) 参照）。

25 つまり、この厚さの薄い p 型 I n G a N 層は金属との接触抵抗を小さくする役割であり、本発明の本質的な部分についての記載はない。これに対して、p 型 I n G a N ベース層 2 上に再成長した厚さ

が100nmでIn組成が20%のp型InGa_N層17の再成長が本発明の本質的な部分であることに注意が必要である。

この20%のp型InGa_N外部ベース層17のMg濃度は、7%のp型InGa_Nベース層2よりも高いことが望ましい。一方、Mg濃度が高くなりすぎると正孔キャリア濃度が減少することがわ
5 っている。以上のことから、Mg濃度は、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ から $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の間であることが望ましい。また、20%のp型InGa_N外部ベース層17の厚さが薄いと再成長の効果が期待できず、厚い場合にはデバイス作製の障害となる恐れがある。従って、
10 この厚さは1nm以上、1000nm以下であることが望ましい。

ここで、FIG. 4に示したようにエッチングによる欠陥は、p型InGa_Nベース層2の上に正の電荷16を発生させる。この正の電荷16がオーミック特性を悪くしている原因である。本実施例では、このIn組成が20%のp型InGa_N外部ベース層17が完全
15 に歪んでいるわけではないが、この層とIn組成が7%のp型InGa_Nベース層2の間にもある程度の負の分極電荷15が発生することが期待できる。この負の電荷15が欠陥による正の電荷16を打ち消すことによって、オーミック特性が良好になることが期待できる。従って、再成長p型InGa_N外部ベース層17のIn組
20 成は、p型InGa_Nベース層2のIn組成よりも高いことが望ましい。

本実施例で再成長させたp型InGa_N外部ベース層8上に2つのPd/Au電極9を形成し、その電極間のI-V特性を測定した。電極の大きさは、 $50 \mu\text{m} \times 80 \mu\text{m}$ であり、その間隔は $20 \mu\text{m}$
25 である。電極がついていない部分は、再成長ベース層8を再成長していない。このため、すべての電流は、7%のp型InGa_Nベース層2と20%の再成長p型InGa_N外部ベース層17の界面を

通過することになる。

FIG. 5 は、p 型 InGa_N 外部ベース層 8 を再成長させた場合の I-V 特性（実施例）と再成長をしなかった場合（従来方法）との I-V 特性の比較図である。従来方法では、エッチングダメージのために、良好なオーミック特性が得られなかった。これに対して、本実施例のように、p 型 InGa_N 外部ベース層 8 を再成長させた場合には、I-V 特性が大幅に改善されていることがわかる。

本発明を使用せずに、FIG. 9 の典型的な HBT プロセスによって、HBT を作製した。非特許文献 2 で紹介されているエミッタ接地特性の一例を図 5 に示す。この HBT では、p 型 InGa_N 層をベース層に用いているので、加工ダメージは p 型 Ga_N の場合よりも少ない。それにもかかわらず、電流利得の最大値は 20 程度であり、立ち上がり電圧は 6 V 程度である。立ち上がり電圧が期待値から予想される値からのズレは 5 V 以上である。

これに対して、本実施例における HBT のエミッタ接地 I-V 特性を FIG. 7 に示す。電流利得の最大値は 3000 以上である。FIG. 8 は、立ち上がり電圧を調べるために、小さな電流値で測定したエミッタ接地 I-V 特性である。FIG. 8 から、立ち上がり電圧は 0.27 V であることがわかる。n 型 Ga_N エミッタ層 1 と In 組成が 7% の p 型 InGa_N ベース層 2 の伝導帯不連続量は 0.2 V であるので、この不連続量にほぼ等しい立ち上がり電圧が得られた。立ち上がり電圧が期待値から予想される値からのズレは 0.1 V 以下である。このように、従来方法で作製した場合に比べ、本実施例における HBT は、電流利得は 100 倍以上に大幅に増加し、立ち上がり電圧が期待値から予想される値からのズレも 1/50 以下に激減した。

以上のように、再成長層に p 型 InGa_N 外部ベース層 8 を用い

ることにより、H B Tの特性を大幅に改善することができる。p型窒化物半導体に含まれるI n原子によって、加工ダメージが修復されたためであると考えられる。

5 産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明では、加工ダメージのあるp型窒化物半導体の上にI nを含むp型窒化物半導体を再成長することにより、加工ダメージが修復され、オーミック特性が大幅に改善される。

このため、本発明をH B Tのベース層に適用すれば、電流利得および立ち上がり電圧を大幅に改善することができるという利点がある。

請 求 の 範 囲

1. エッチングによる加工を施した p 型窒化物半導体上に、再成長させた In を含む p 型窒化物半導体層を設けたことを特徴とする p 型窒化物半導体構造。
2. 前記 In を含む p 型窒化物半導体層が、p 型 InGa_Nであることを特徴とする請求項 1 に記載の p 型窒化物半導体構造。
3. 基板上に、n 型コレクタ層と、該 n 型コレクタ層上に設けられた p 型ベース層と、該 p 型ベース層上に設けられた n 型エミッタ層とを備え、該 n 型エミッタ層をエッチングすることにより露出された前記 p 型ベース層の表面に、再成長させた In を含む p 型窒化物半導体層を設けたことを特徴とする p 型窒化物半導体構造。
4. 前記 p 型窒化物半導体層が、p 型 InGa_Nであることを特徴とする請求項 3 に記載の p 型窒化物半導体構造。
5. 前記 p 型ベース層が、p 型 InGa_Nであることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の p 型窒化物半導体構造。
6. 前記 p 型 InGa_N ベース層の In 組成は 5 ~ 30 % であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の p 型窒化物半導体構造。
7. 前記 p 型窒化物半導体層の In 組成は、前記 p 型 InGa_N ベース層の In 組成よりも高いことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の p 型窒化物半導体構造。
8. 基板上に、n 型コレクタ層と、該 n 型コレクタ層上に設けられた p 型ベース層と、該 p 型ベース層上に設けられた n 型エミッタ層とを備え、前記 p 型ベース層が p 型窒化物半導体であるバイポーラトランジスタにおいて、

前記 n 型エミッタ層をエッチングすることにより露出された前記 p 型ベース層の表面に、再成長させた In を含む p 型窒化物半導体層を設けたことを特徴とする p 型窒化物半導体バイポーラトランジスタ。

5 9. 前記 p 型窒化物半導体層が、p 型 InGa_Nであることを特徴とする請求項 8 に記載の p 型窒化物半導体バイポーラトランジスタ。

10 10. 前記 p 型ベース層が、p 型 InGa_Nであることを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載の p 型窒化物半導体バイポーラトランジスタ。

11. 前記 p 型ベース層と前記 n 型コレクタ層との間に In 組成を徐々に変化させたグレーデッド層を設けたことを特徴とする請求項 8, 9 又は 10 に記載の p 型窒化物半導体バイポーラトランジスタ。

15 12. 前記 p 型 InGa_Nベース層の In 組成は 5 ~ 30 % であることを特徴とする請求項 8 乃至 11 のいずれかに記載の p 型窒化物半導体バイポーラトランジスタ。

20 13. 前記 p 型窒化物半導体層の In 組成は、前記 p 型 InGa_Nベース層の In 組成よりも高いことを特徴とする請求項 8 乃至 12 のいずれかに記載の p 型窒化物半導体バイポーラトランジスタ。

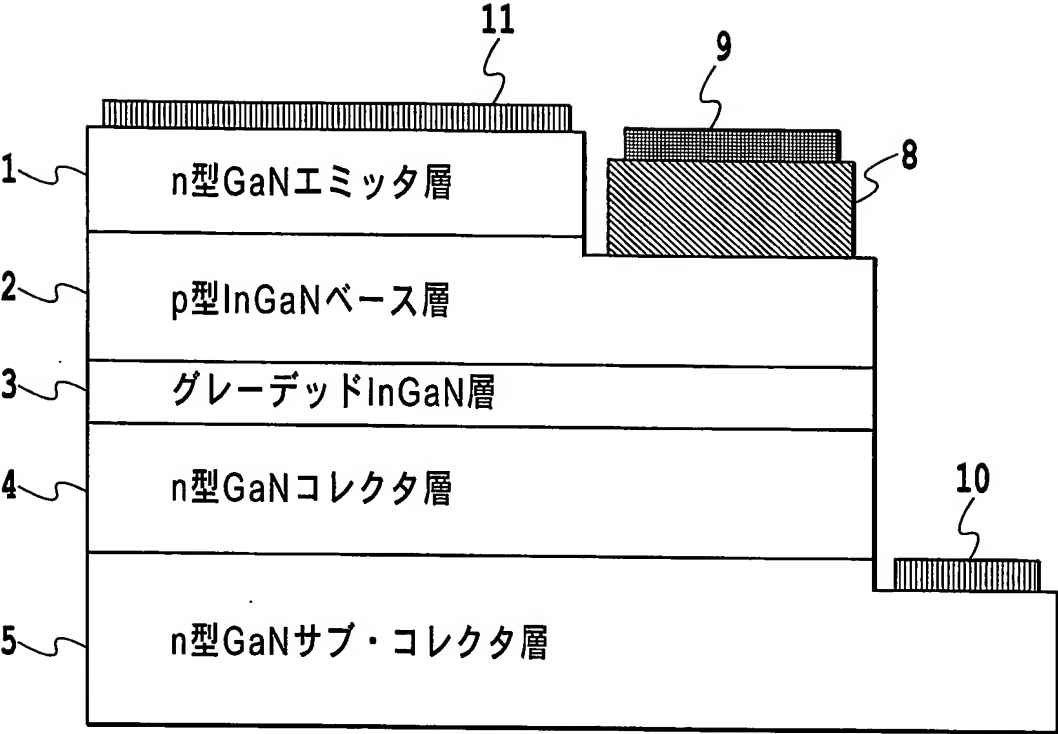


FIG.1

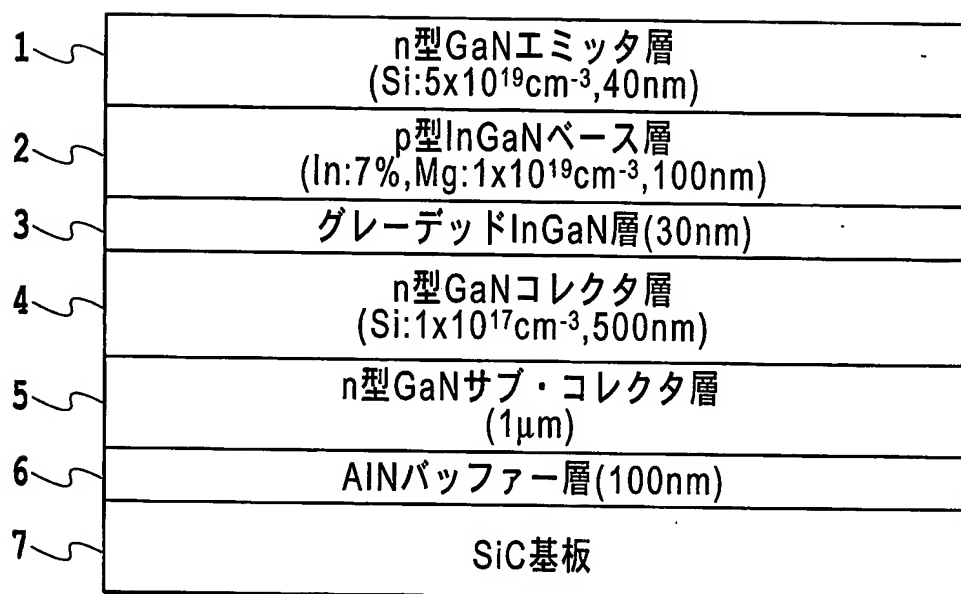
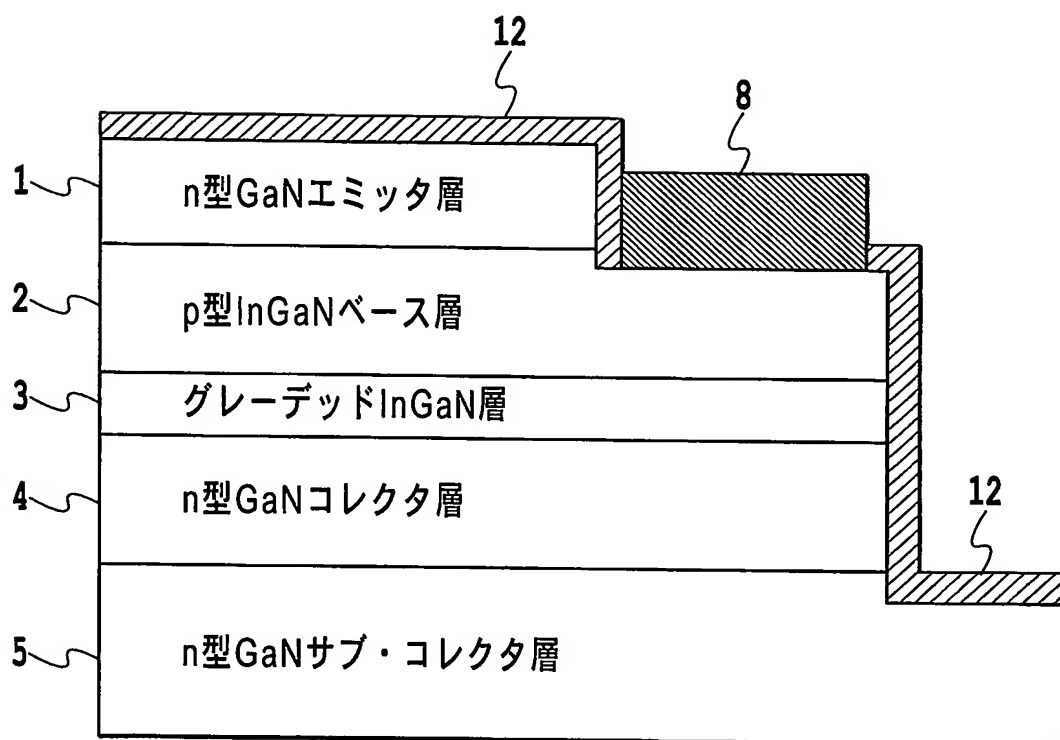
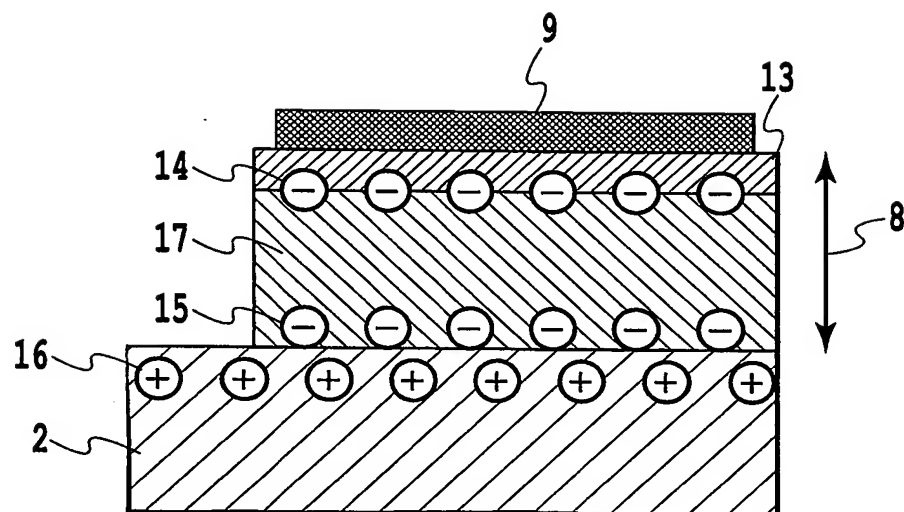


FIG.2

**FIG.3**

**FIG.4**

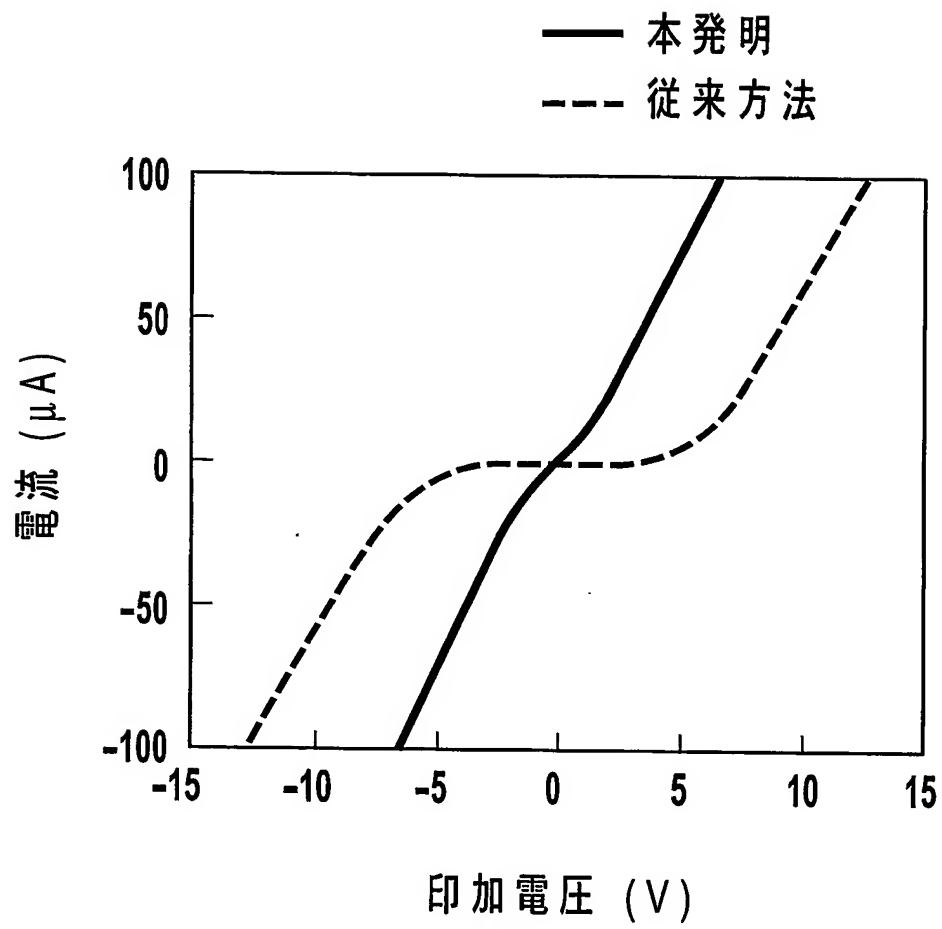
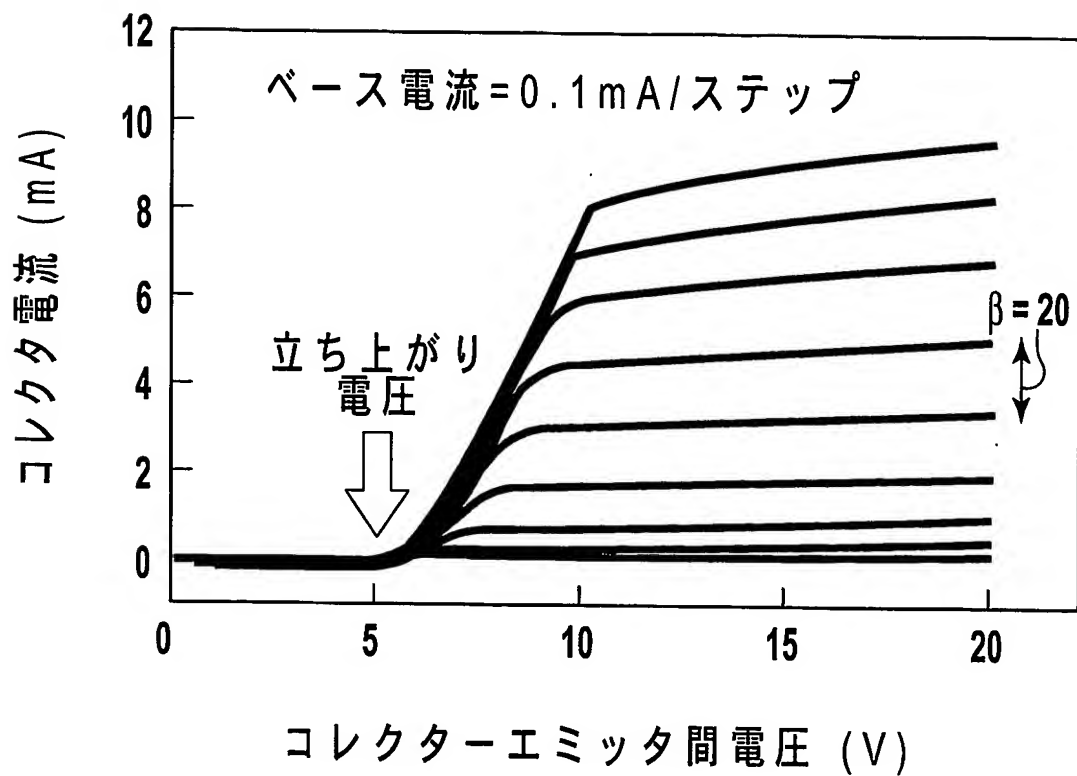


FIG.5



従来技術

FIG.6

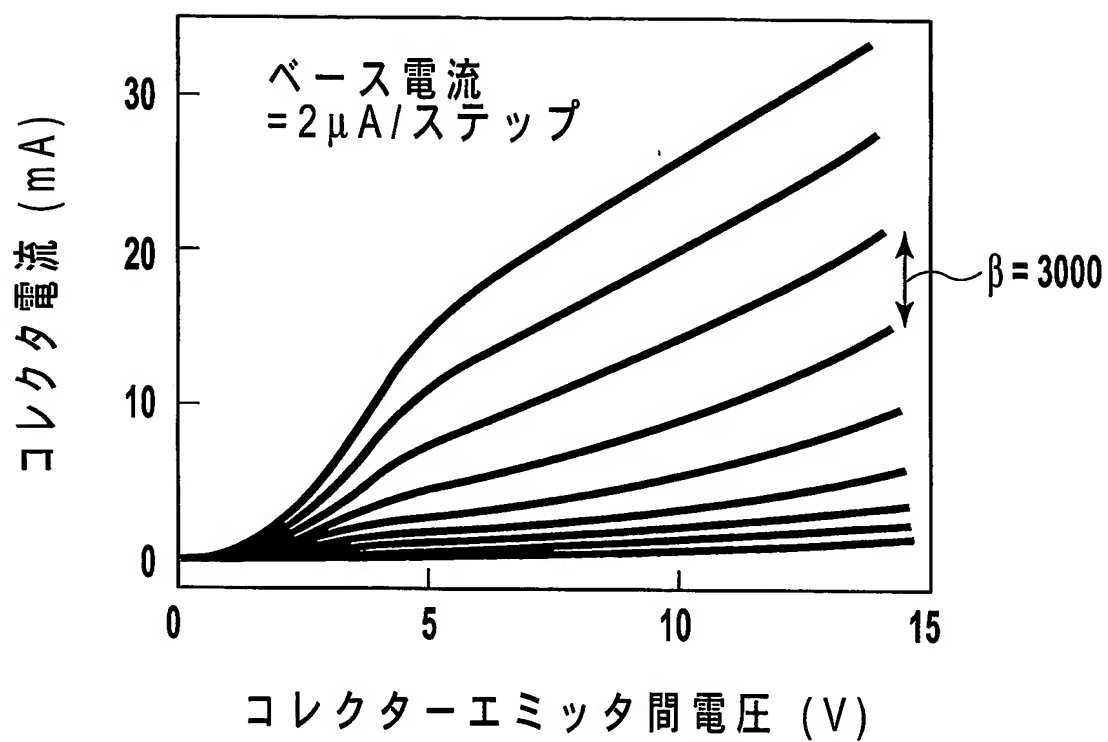


FIG.7

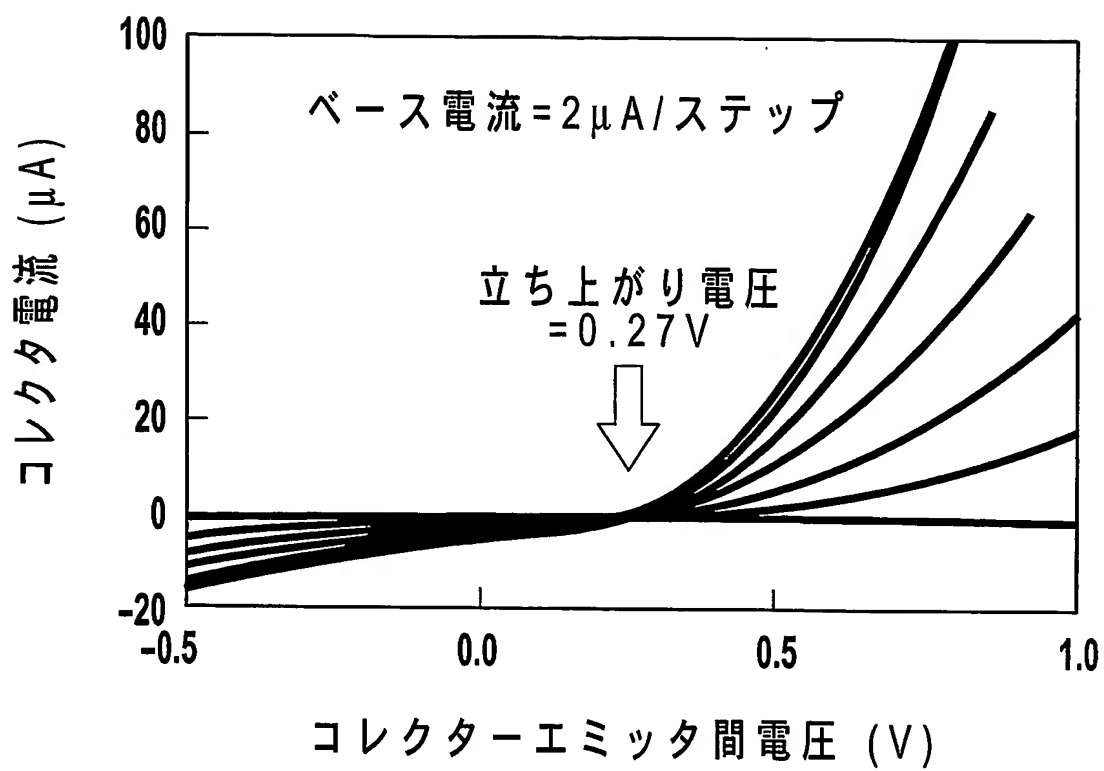
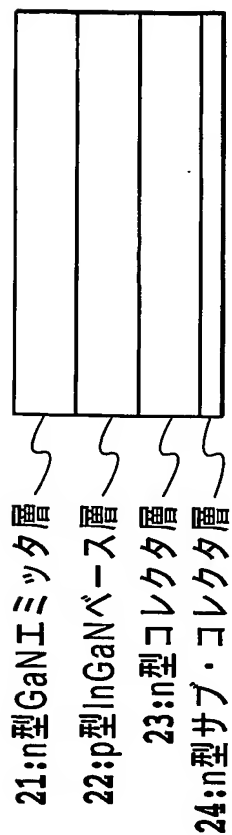


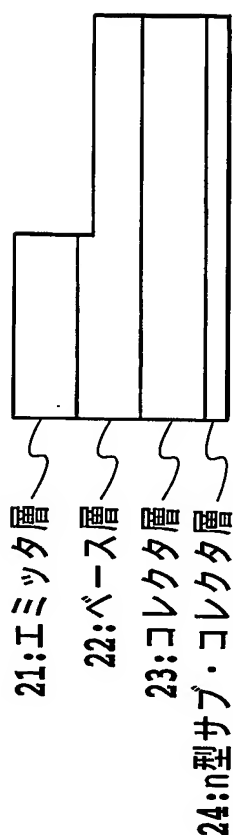
FIG.8

FIG.9A 従来技術



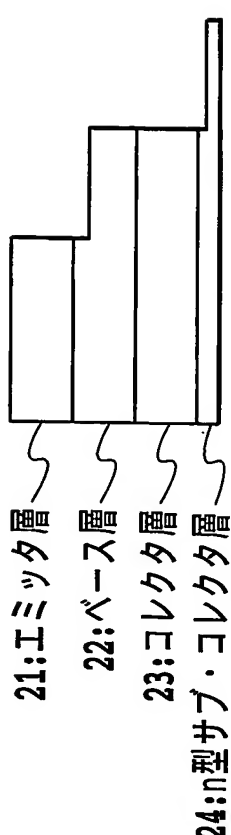
HBT構成の
結晶成長

FIG.9B 従来技術



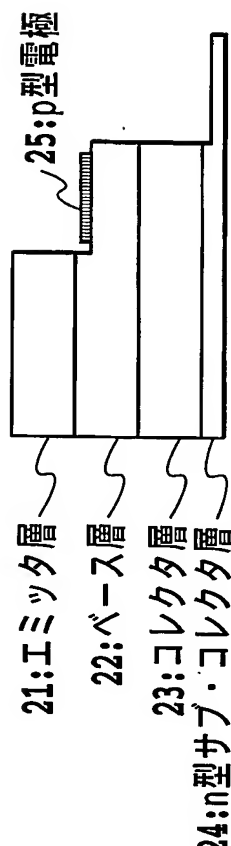
エッチングによる
ベース層の面出し

FIG.9C 従来技術



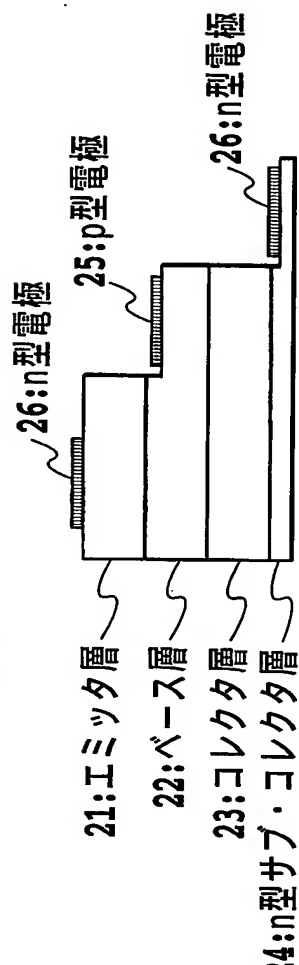
エッチングによる
サブ・コレクタ層の面出し

FIG.9D 従来技術

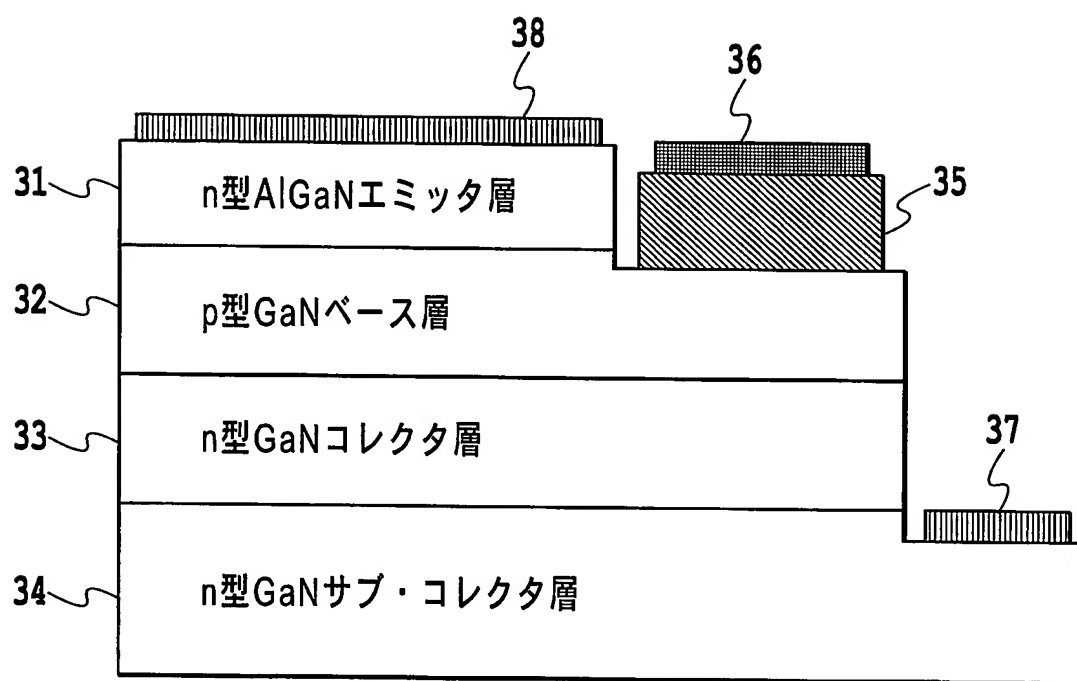


ベース層への
p型電極の形成

FIG.9E 従来技術



エミッタ層および
サブ・コレクタ層への
n型電極の形成



従 来 技 術

FIG.10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/000014.

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L29/737, H01L21/331, H01L21/28

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L29/73-29/737, H01L21/331, H01L21/28

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

| | | | |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2004 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2004 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2004 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| X | JP 11-150296 A (Toshiba Corp.), 02 June, 1999 (02.06.99), Figs. 32, 35 to 36 (Family: none) | 1, 2 |
| Y | L. S. McCarthy et al., 'AlGaIn/GaN Heterojunction Bipolar Transistor', IEEE Electron Device Letters, June, 1999, Vol.20, No.6, pages 277 to 279 | 3-13 |
| Y | JP 10-65216 A (Toyoda Gosei Co., Ltd.), 06 March, 1998 (06.03.98), Par. Nos. [0008] to [0009]; Fig. 1 (Family: none) | 3-13 |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 April, 2004 (01.04.04)

Date of mailing of the international search report
13 April, 2004 (13.04.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/000014

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| Y | US 2002/0146855 A1 (Takenori GOTO), 10 October, 2002 (10.10.02), Par. Nos. [0142] to [0147]; Fig. 20 & JP 2002-305358 A Par. Nos. [0074] to [0079]; Fig. 20 & JP 2002-305349 A | 3-13 |
| Y | Kazuhide KUMAKURA et al., 'Low-resistance nonalloyed ohmic contact to p-type GaN using strained InGaN contact layer', Applied Physics Letters, 15 October, 2001 (15.10.01), Vol.79, No.16, pages 2588 to 2590 | 3-13 |
| Y | JP 2002-305204 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 18 October, 2002 (18.10.02), Par. Nos. [0034] to [0035]; Figs. 5, 7 (Family: none) | 5-7,10-13 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/000014

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

As stated on the "extra sheet", although there must exist a special technical feature so linking a group of inventions of claims as to form a single general inventive concept in order that the group of inventions may satisfy the requirement of unity of invention, this international application contains five inventions: the invention of claims 1, 2; the invention of claims 3, 4, 8-13; the invention of claim 5; the invention of claim 6; and the invention of claim 7.

(Continued to extra sheet.)

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/000014

Continuation of Box No. II of continuation of first sheet(1)

Document 1: JP 11-150296 A (Toshiba Corp.), 02 June, 1999 (02.06.99)

The technical feature common to claims 1-13 is "formation of a p-type nitride semiconductor layer containing In by regrowth on a p-type nitride semiconductor processed by etching".

However, the international search has revealed that this technical feature, "formation of a p-type nitride semiconductor layer containing In by regrowth on a p-type nitride semiconductor processed by etching", is not novel since it is disclosed in document 1, Figs. 32, 35, 36.

Consequently, the common feature, "formation of a p-type nitride semiconductor layer containing In by regrowth on a p-type nitride semiconductor processed by etching", is not a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence, since it makes no contribution over the prior art.

Consequently, it appears that claims 1-13 do not satisfy the requirement of unity of invention.

Independent claims 3, 8 involves a special technical feature, "formation of a p-type nitride semiconductor layer containing In by regrowth on a p-type base layer exposed by etching an n-type emitter layer". Therefore, the international application contains five inventions: the invention of claims 1, 2; the invention of claims 3, 4, 8-13; the invention of claim 5; the invention of claim 6; and the invention of claim 7.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L29/737, H01L21/331, H01L21/28

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L29/73-29/737, H01L21/331, H01L21/28

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

| | |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2004年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2004年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2004年 |

国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
|-----------------|--|------------------|
| X | J P 11-150296 A (株式会社東芝) 1999. 06. 02, 第32, 35-36図 (ファミリーなし) | 1, 2 |
| Y | L. S. McCarthy et. al., 'AlGaIn/GaN Heterojunction Bipolar Transister', IEEE Electron Device Letters, JUNE 1999, Vol.20, No.6, p.277-279 | 3-13 |
| Y | J P 10-65216 A (豊田合成株式会社) 1998. 03. 06, 段落番号【0008】-【0009】, 第1図 (ファミリーなし) | 3-13 |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01. 04. 2004

国際調査報告の発送日

13. 4. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

洲 真悟

4 L

2933

電話番号 03-3581-1101 内線 3496

| C (続き) . 関連すると認められる文献 | | |
|-----------------------|---|------------------|
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
| Y | US 2002/0146855 A1 (Takenori Go to) 2002. 10. 10, 段落番号 [0142] - [0147], FIG. 20 & JP 2002-305358 A, 段落番号【0074】 - 【0079】, 第20図 & JP 2002-305349 A | 3-13 |
| Y | Kazuhide Kumakura et. al., 'Low-resistance nonalloyed ohmic contact to p-type GaN using strained InGaN contact layer', Applied Physics Letters, 15 October 2001, Vol.79, No.16, p. 2588-2590 | 3-13 |
| Y | JP 2002-305204 A (日本電信電話株式会社) 2002. 10. 18, 段落番号【0034】 - 【0035】, 第5, 7図 (ファミリーなし) | 5-7, 10-13 |

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT 17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

(特別ページ) に記載したように、請求の範囲に記載されている一群の発明が単一性の要件を満たすには、その一群の発明を単一の一般的発明概念を形成するように連関させるための、特別な技術的特徴の存在が必要であるところ、この国際出願の請求の範囲には、この国際出願の請求の範囲には、[1, 2]、[3, 4, 8-13]、[5]、[6]、[7]に区分される5個の発明が記載されている。

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

文献1：JP11-150296 A (株式会社東芝)，1999.06.02

請求の範囲1-13に共通な事項は「エッチング加工を施したp型窒化物半導体上に、再成長させたInを含むp型窒化物半導体層を設けた」構成である。

しかしながら、調査の結果、この「エッチング加工を施したp型窒化物半導体上に、再成長させたInを含むp型窒化物半導体層を設けた」構成は、文献1の第32図、第35-36図に記載されているから、新規でないことが明らかとなった。

結果として、「エッチング加工を施したp型窒化物半導体上に、再成長させたInを含むp型窒化物半導体層を設けた」構成は先行技術の域を出ないから、PCT規則13.2の第2文の意味において、この共通事項は特別な技術的特徴ではない。

よって、請求の範囲1-13は単一性の要件を満たしていないことが明らかである。

そして、独立請求の範囲3、8において、特別な技術的特徴として、「n型エミッタ層をエッチングすることにより露出されたp型ベース層の表面に、再成長させたInを含むp型窒化物半導体層を設けた」構成を有することから、この国際出願の請求の範囲には、[1, 2]、[3, 4, 8-13]、[5]、[6]、[7]に区分される5個の発明が記載されていると認める。